

**INVESTIGACIÓN DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE LAS RUTAS DE
TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO CONVENCIONAL EN EL ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**MAYRA LEONOR HERNÁNDEZ LEÓN
DIANA PATRICIA MORENO DELGADO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

**INVESTIGACIÓN DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE LAS RUTAS DE
TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO CONVENCIONAL EN EL ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**MAYRA LEONOR HERNÁNDEZ LEÓN
DIANA PATRICIA MORENO DELGADO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Civil**

**Director:
LUIS DAVID ARÉVALO DURAN
Ingeniero Civil y Especialista en Transporte**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A Dios ya que con Él todo y sin Él nada... por fortalecer mi espíritu y darme la oportunidad de emprender este camino hacia el éxito.

A mi madre querida Evelia, por su apoyo incondicional, sus consejos, su amor, su esfuerzo, y su fe en mí, lo cual ha sido mi mayor motivación para alcanzar mis sueños ¡Te amo Mamá!

A mi padre Jaime quien con su dedicación y esfuerzo ha hecho posible este sueño, gracias por su enseñanza a través de ejemplo con disciplina y constancia sobre cómo afrontar las situaciones de la vida.

A mi hermana Ana María por su compañía y apoyo a lado de mis padres para que yo lograra ser profesional, Me siento afortunada y agradecida de tenerte. ¡Te quiero mucho!

A mi sobrino Christopher Andrés, por llenar mis días de alegría, sonrisas y travesuras inocentes, porque eres quien impulsa mi vida a mejorar para ser mejor persona cada día, y así enseñarte con ejemplo de vida.

A mi amor Luis Danilo, por siempre estar a mi lado, por su apoyo constante, brindándome toda su entrega y dedicación Por tenerme mucha paciencia, comprensión y ofrecerme siempre las palabras necesarias para afrontar los retos en el transcurso del cumplimiento de esta meta,

A mi gran amiga Luisa Fernanda, que estuvo desde el inicio hasta el final apoyándome en cada momento de este proceso.

A mi compañera de proyecto Mayra por brindarme su amistad y permitirme compartir experiencias que quedarán en el recuerdo de los años de mi vida como estudiante de pregrado.

Diana patricia Moreno Delgado

DEDICATORIA

Está dedicada a Dios por darme fuerza y sabiduría en situaciones difíciles .A mis padres Por guiarme en el sendero de lo sensato por su amor incondicional, a mí esposo por su paciencia y constancia a mi hija por ser la luz de mis ojos a mis hermanos por el tiempo dedicado siempre, a mis amigos por su amistad y compañía, A todos gracias por hacer parte de mi vida.

Mayra Hernández león

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por guiar nuestro camino y colocar en nuestras vidas personas y situaciones de bendición para la realización de este artículo, de igual manera agradecemos a nuestro director el ingeniero civil especialista Luis David Arévalo Duran por darnos la confianza necesaria para desarrollar este proyecto , brindándonos su apoyo incondicional a lo largo de todo el proceso, por su paciencia y los conocimientos brindados durante este trayecto y sin los cuales no se hubiesen podido cumplir los objetivos trazados, agradecemos ampliamente por su disposición constante.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO REFERENCIAL.....	18
1.1 TRANSPORTE DE PASAJEROS EN EL ÁREA METROPOLITA DE BUCARAMANGA.....	18
1.2 NORMATIVIDAD DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN EN BUCARAMANGA	18
1.3 RELACIÓN DE DEMORA.....	21
1.3.1. Demora	21
1.4 CAPACIDAD DE FLOTA.....	22
1.5 NIVEL DE SERVICIO	22
2. METODOLOGÍA	24
2.1 TOMA DE DATOS EN CAMPO	24
2.2 TABULACIÓN DE DATOS.....	25
2.3 ORGANIZACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	26
3. RESULTADOS.....	28
3.1 COMPORTAMIENTO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE LAS RUTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO CONVENCIONAL EN EL AMB	28
3.1.1 Análisis de frecuencia de las velocidades.....	29
3.1.2 Curva de distribuciones de frecuencias acumulada relativa	32
3.1.3 Distribución normal de velocidades	33
3.1.4 Relación de demoras	34
3.2 CAPACIDAD DE FLOTA DE LAS RUTAS MUESTRA DEL AMB.....	36
3.3 COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE RECORRIDOS DETECTADAS EN CAMPO DE LA RUTAS MUESTRA CONSIDERANDO TRES ESCENARIOS.....	38

4. CONCLUSIONES	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXOS	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de cobertura de rutas complementarias.....	19
Figura 2. Histograma de Velocidades	30
Figura 3. Curva de frecuencia observada y acumulada de velocidades	32
Figura 4. Distribución Normal de Velocidades	33
Figura 5. Velocidades de operación en la carrera 33.....	35
Figura 6. Comparación de velocidades de operación de la carrera 33.	36
Figura 7. Velocidades de operación de las rutas de transporte público colectivo en tres escenarios.....	39
Figura 8. Comparación de relación de demora entre velocidad de diseño y velocidad recorrido de cinco rutas de transporte público colectivo de AMB.	41

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Niveles de servicio del manual de capacidad de carreteras HCM	23
Tabla 2. Velocidad promedio de recorrido y velocidad ponderada de recorrido. ...	28
Tabla 3. Medidas de tendencia central.	29
Tabla 4. Medidas de dispersión	29
Tabla 5. Coeficientes Adimensionales	29
Tabla 6. Tabla de distribución de frecuencias.....	30
Tabla 7. Constante correspondiente al nivel de confianza.....	34
Tabla 8. Velocidades de operación en la carrera 33.....	35

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Rutas Actuales de transporte publico convencional 2015 (Archivo adjunto).....	50

RESUMEN

TÍTULO INVESTIGACIÓN DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE LAS RUTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO CONVENCIONAL EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

AUTORAS: MAYRA LEONOR HERNÁNDEZ LEÓN**
DIANA PATRICIA MORENO DELGADO

PALABRAS CLAVES: Velocidad de recorrido, velocidad de operación, Transporte Público Colectivo Complementario, Capacidad de flota.

DESCRIPCIÓN

Actualmente Bucaramanga y su área metropolitana presenta problemas de movilidad, por lo que esta investigación pretende dar a conocer un indicador de movilidad, estudiando así el comportamiento de las velocidades de operación de las rutas de transporte público colectivo convencional, el cual es un servicio prestado por 11 empresas habilitadas en 51 rutas que circulan por las vías principales del área metropolitana de Bucaramanga, en el presente año 2015 donde el sistema integrado de transporte masivo Metrolinea no está presente, incluyendo barrios alejados del área metropolitana como los Colorados, Morrórico, Puente tierra, Convivir y Gonzales chaparro entre otros.

Se hicieron mediciones de tiempos de recorrido por medio de toma de datos de cada ruta existente en campo, teniendo estos tiempos y conociendo las distancias totales de cada ruta se calcula la velocidad de recorrido, también llamada velocidad global o de viaje, que es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde principio a fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla incluyendo todas las demoras operacionales por reducción de velocidad y paradas provocadas en la vía, el tránsito y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor esto con el fin de comparar condiciones de velocidad antes y después del sistema integrado de transporte masivo Metrolinea y así relacionar la velocidad con la capacidad de flota de cada ruta.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Duran, Ingeniero Civil y Especialista en Transporte

ABSTRACT

TITLE: RESEARCH OPERATING SPEED ROUTES GROUP PUBLIC TRANSPORT IN CONVENTIONAL METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA*

AUTHORS: MAYRA LEONOR HERNÁNDEZ LEÓN**
DIANA PATRICIA MORENO DELGADO

KEYWORDS: Travel speed, operating speed, Public Collective Transport complementary, fleet capacity.

DESCRIPTION

Currently Bucaramanga and his metropolitan area present problems of mobility, for what this investigation aims to announce an indicator of mobility, Studying this way the behavior the operating speeds of the routes of public transport conventional, which is a service given by 11 companies enabled in 51 routes that circulate along the principal routes of Bucaramanga's metropolitan area, In the present year 2015 where the integrated system of massive transport Metrolinea is not present, including neighborhoods away from the metropolitan area like los Colorados, Morrórico, Puente Tierra, Convivir and Gonzales Chaparro and others.

There were made measurements of travel times by means of capture of information of every existing route in field, having these times and knowing the total distances of every route, the speed of travel is calculated, also so called global speed or of trip, that is the result of dividing the travelled distance, from start to finish trip, between the total time spent in cross it Including all the operational delays for speed reduction And stops provoked in the road, the transit, and control devices, beyond the control of the driver in order to compare speed conditions before and after the integrated mass transit system METROLINEA and thus relate speed whit with the fleet capacity of each route.

* Work degree

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Luis David Arévalo Duran, Civil Engineering and Transport Specialist

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

AMB: Área Metropolitana de Bucaramanga.

SITM: Sistema integrado de transporte masivo.

HCM: Highway Capacity Manual, Manual de Capacidad de las Carreteras (HCM) determina la capacidad y los niveles de servicio en condiciones ideales y, posteriormente, estas variables se adaptan en función de las discrepancias que existan entre éstas condiciones y las características propias del tramo real de la carretera estudiada o proyectada.

INTRODUCCIÓN

Bucaramanga y su área metropolitana han venido creciendo en forma desmesurada, no habiendo previsto a tiempo una adecuada planeación urbanística, por lo que la ciudad y su entorno urbano crecieron con una infraestructura vial inadecuada. El origen de la problemática observado por los ciudadanos, es el nivel de congestión vehicular. Esto se debe a la alta concentración de flujos vehiculares desde los municipios del AMB hacia Bucaramanga, en las horas tempranas de la mañana y a final de la tarde, en medio de una limitada oferta vial para atenderlos [1].

Esta situación ha venido agravándose con el tiempo, debido a que los crecimientos de población se han concentrado principalmente en los municipios de Girón y Piedecuesta, mientras que los sitios de generación de empleo se mantienen en Bucaramanga.

Con la realización de este estudio se establecieron velocidades de operación que actualmente se desarrollan en la infraestructura vial para poder tener un registro de las velocidades que ofrece el sistema de transporte público colectivo convencional a los usuarios del mismo en todo el área metropolitana de Bucaramanga. Estos registros sirven como apoyo a estudios de los indicadores de movilidad de las diferentes empresas prestadoras del servicio público colectivo convencional, al observatorio del Área metropolitana de Bucaramanga, al estudio y análisis para futuras ampliaciones de vías, así como para información del mismo usuario, e iniciar un proceso de registro de velocidades de operación de los distintos medios de transporte durante por lo menos una década a efectos de implementar a futuro nuevos sistemas de transporte como por ejemplo un metro o un monorriel. Como ejemplo basta señalar que para la evaluación socioeconómica de la primera línea del metro de Bogotá, fue necesario acudir a este tipo de

información sobre el comportamiento de las velocidades en Bogotá, como un insumo necesario para estimar el ahorro futuro de tiempos de viaje, como el mayor beneficio que se obtiene con la implementación de un nuevo sistema de transporte.

En este estudio se realizaron mediciones de velocidades de recorrido a buses y busetas de transporte público colectivo convencional que circulan por Bucaramanga y su área metropolitana en diferentes horas del día, pues el flujo vehicular presenta congestión permanente.

Se analizaron diferentes vías, las principales como la carrera 33, anillo vial, calle 34, vía chimita, vía al mar, vía a Cúcuta entre otras, utilizando como equipo de medición un cronometro para el tiempo y datos obtenidos desde el observatorio del área metropolitana de Bucaramanga para las longitudes de cada ruta, datos con los que se obtiene la velocidad de recorrido.

A partir de las velocidades obtenidas se han calculado datos estadísticos, donde se da a conocer el comportamiento de las velocidades de operación de las rutas y la comparación entre las velocidades detectadas en el diseño de las rutas frente a las velocidades de operación detectadas en campo.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 TRANSPORTE DE PASAJEROS EN EL ÁREA METROPOLITA DE BUCARAMANGA

El transporte público colectivo de pasajeros en el Área Metropolitana de Bucaramanga, es prestado actualmente por un Sistema Masivo denominado METROLINEA y 11 empresas de servicio convencional, habilitadas para ofrecer el servicio complementario en 51 rutas, que operan en sectores donde no está presente el SITM.

Antes de implementarse el SITM el servicio se ofrecía con 1887 buses metropolitanos y 244 de radio de acción municipal. Para el ingreso de METROLINEA, hasta la fecha, las empresas han reducido la sobreoferta de buses en un total de 1049 vehículos. Según reporte de las empresas transportadoras, entre Julio y diciembre de 2013, en los 965 buses actualmente habilitados, se registraron 29.197.975 pasajes, siendo UNITRANSA la empresa que más personas transporta, con una participación del 22%, seguida de Transcolombia y Transpiedecuesta, cada una con el 14% [2].

1.2 NORMATIVIDAD DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN EN BUCARAMANGA

El decreto 1239 del código de tránsito colombiano contempla una velocidad máxima en la ciudad de 80 kilómetros por hora para vías urbanas y carreteras municipales, en avenidas con intersección el límite de velocidad es de 60

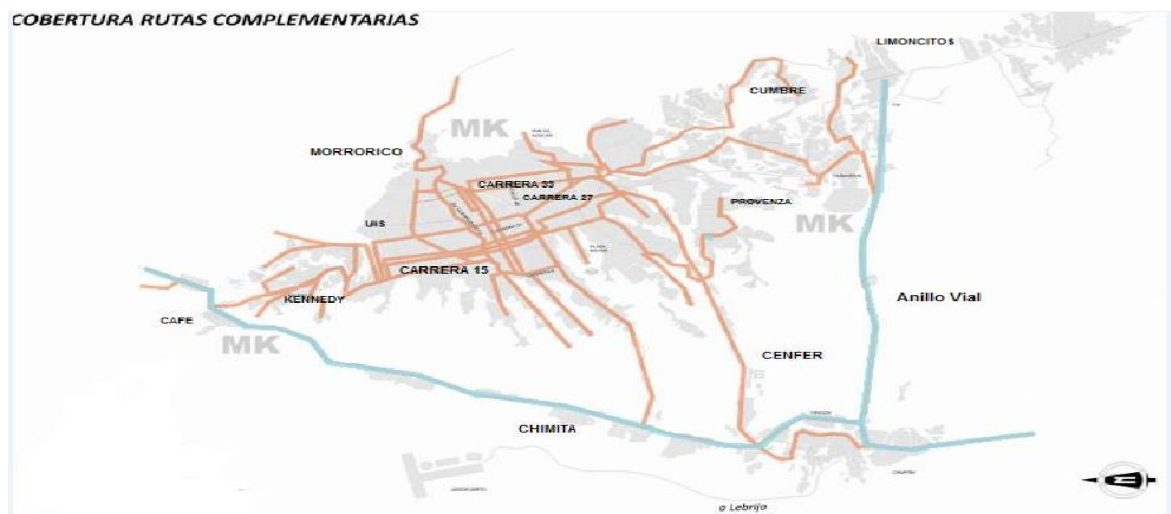
kilómetros por hora, mientras que en las zonas residenciales, comerciales y escolares, la velocidad no debe exceder los 30 Km. /h.

Aunque el decreto 1239 establece que en la ciudad los vehículos particulares lleguen hasta los 80 Km. /h, sólo se debe aplicar siempre y cuando la autoridad local presente un estudio que avale el aumento de velocidad que estipula la nueva norma [3].

En Bucaramanga hemos encontrado que hay zonas del área metropolitana como la autopista, el anillo vial, la autopista a Girón o la vía al Terminal, en las que es común exceder los límites de velocidad.

El promedio de velocidad en las vías de la ciudad se obtuvo de un estudio realizado por el Fondo de Prevención Vial a 9.626 vehículos, de los cuales 3.026 fueron motocicletas, 1.563 buses, 910 camiones y 4.127 carros y camionetas.

Figura 1. Mapa de cobertura de rutas complementarias



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga

- 1 Anillo Vial: 60 kilómetros por hora
- 2 Puente La Flora: 49 kilómetros por hora
- 3 Autopista a Floridablanca: 49 kilómetros por hora
- 4 Parque Corona con calle 64: entre 45 y 49 kilómetros por hora.
- 5 Avenida Quebrada seca: 41,5 kilómetros por hora
- 6 Parque Turbay con carrera 27: entre 40 y 41 kilómetros por hora [4].

A pesar de que el artículo 1239 dice que las autoridades de tránsito de cada ciudad son quienes establecen las velocidades de operación de las vías urbanas sin exceder de 80 km/h, no obstante en la ciudad no hay estudios de ingeniería de tránsito que apoyen las velocidades reglamentarias existentes en Bucaramanga y su área metropolitana.

La velocidad es uno de los principales indicadores utilizados para medir la calidad de la operación a través de un sistema de transporte, a su vez conductores y usuarios miden la calidad de viaje por la habilidad y libertad para mantener una velocidad uniforme deseada y un factor importante a la hora de seleccionar una ruta específica para ir de un origen a un destino, consiste en la minimización de las demoras que se logra con una buena velocidad sostenida y segura.

La velocidad en una ruta puede determinarse por la velocidad de recorrido o velocidad de viaje que es la relación entre la distancia recorrida de principio a fin del viaje y el tiempo total que se empleó en recorrerla, teniendo en cuenta los descuentos en tiempos ocupados por los dispositivos de control de tránsito.

Los estudios de velocidad se realizan en vías de circulación discontinuas, como arterias urbanas donde la influencia de los semáforos es predominante, se usan más los estudios sobre tiempo de recorrido. Sin embargo los estudios de velocidad de recorrido resultan útiles para ciertos fines, tales como evaluar la calidad de

movimiento vehicular a lo largo de una ruta y determinar la ubicación, tipo y magnitud de las demoras del tránsito.

Entre las aplicaciones de los estudios sobre velocidad de recorrido se encuentran:

- Estimar la calidad del servicio ofrecido al usuario.
- Comparar condiciones de flujo en cada una de las rutas en dos escenarios, sin la implementación de un nuevo proyecto de transporte y con la implementación de un nuevo proyecto de transporte.
- Para el diseño de futuras vías o ampliación de las existentes
- Estimación de tendencias de velocidades
- Evaluaciones sobre seguridad vial.
- Prevención de accidentes.

1.3 RELACIÓN DE DEMORA

1.3.1. Demora. Es el tiempo perdido por un vehículo debido a las causas más allá del control del conductor.

La demora puede medirse como una relación de demora con la diferencia entre la relación de movimiento observado y la relación de movimiento considerada normalmente para diferentes tipos de vías urbanas.

1.4 CAPACIDAD DE FLOTA

La capacidad de flota está relacionada con el ciclo, el cual es inversamente proporcional a la velocidad, lo que quiere decir que la velocidad interviene en el ciclo por lo que afecta la capacidad de la flota.

$$ciclo = \frac{longitud}{Velocidad} \quad (1)$$

$$Capacidad\ de\ flota = \frac{ciclo\ [min]}{Frecuencia[min]} \quad (2)$$

1.5 NIVEL DE SERVICIO

El concepto de nivel de servicio se utiliza para evaluar la calidad del flujo. Es “una medida cualitativa que descubre las condiciones de operación de un flujo de vehículos y/o personas, y de su percepción por los conductores o pasajeros”. Estas condiciones se describen en términos de factores como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones a la circulación, la comodidad, las conveniencias y la seguridad vial. Para cada tipo de infraestructura se definen 6 niveles de servicio, para los cuales se disponen de procedimientos de análisis, se les otorga una letra desde la A hasta la F siendo el nivel de servicio (NS) A el que representa las mejores condiciones operativas, y el NS F, las peores. Las condiciones de operación de estos niveles, para sistemas de flujo ininterrumpido son las siguientes [5]:

Tabla 1. Niveles de servicio del manual de capacidad de carreteras HCM

CLASIFICACION ARTERIAL				
Velocidades	I	II	III	
Intervalos de variación de la velocidad libre en Km/hora	72,4 a 56,3	56,3 a 48,3	56,3 a 40,2	
Velocidad libre normal	64,4	53,1	43,4	
NIVEL DE SERVICIO	VELOCIDAD MEDIA DE RECORRIDO			V. ASUMIDA
A	Mayor o igual a 52,3	Mayor o igual a 48,3	Mayor o igual a 40,2	40,20
B	Mayor o igual a 45,0	Mayor o igual a 38,6	Mayor o igual a 30,6	30,60
C	Mayor o igual a 35,4	Mayor o igual a 29,0	Mayor o igual a 29,9	29,90
D	Mayor o igual a 27,4	Mayor o igual a 22,5	Mayor o igual a 14,5	14,5
E	Mayor o igual a 20,9	Mayor o igual a 16,1	Mayor o igual a 11,3	11,3
F	Menor a 20,3	Menor a 16,1	Menor a 11,3	11,3

Fuente: Highway Capacity Manual. HCM

2. METODOLOGÍA

Para investigar las velocidades de operación de las rutas de transporte público colectivo convencional en el área metropolitana de Bucaramanga se realiza una recolección de datos sobre el número de rutas existentes en el área metropolitana dando como resultado un número total de 51 rutas, el cual es, el tamaño de la población en estudio.

Se realiza el cálculo del tamaño de la muestra con que se hacen los análisis, teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$n = \frac{K^2 N pq}{e^2 N - 1 + K^2 pq} \quad (3)$$

2.1 TOMA DE DATOS EN CAMPO

Con el tamaño de la muestra se seleccionan las rutas a las cuales se les toma los tiempos de recorrido teniendo en cuenta de abarcar todas las vías principales del área metropolitana de Bucaramanga así como la participación de las diferentes empresas prestadoras del servicio público convencional.

Se hace el recorrido desde la estación de inicio de cada ruta hasta el destino final de las mismas tomando el tiempo con la ayuda del cronometro.

Alternamente se realiza la búsqueda de Información sobre datos similares a los de la actual investigación como las longitudes y tiempos que registraban las rutas de transporte publico convencional en años anteriores, tomando como referencia dos

escenarios, antes y después de la implementación del sistema integrado de transporte masivo.

2.2 TABULACIÓN DE DATOS

Con los datos de tiempo de recorrido ya recolectados y La información proporcionada por el Área metropolitana de Bucaramanga sobre longitud, código de ruta, nombre de las rutas de interés se realiza el modelo de simulación de las rutas con la herramienta de Microsoft Excel 2010, calculando las velocidades de recorrido, velocidad promedio de recorrido y velocidad ponderada de recorrido con las siguientes ecuaciones.

- ✓ Velocidad de recorrido

$$V_{recorrido} = \frac{\text{distancia recorrida [Km]}}{\text{tiempo de recorrido [h]}} \quad (4)$$

- ✓ Velocidad promedio de Recorrido

$$V_{prom\ recorri} = \frac{\text{distancias recorridas [Km]}}{\text{Tiempos de recorrido [h]}} \quad (5)$$

- ✓ Velocidad ponderada de recorrido

$$V_{pond} = \frac{\text{distancia recorrida [Km]}}{\text{distancias de recorridas [Km]}} * V_{recorri} \quad (6)$$

$$\text{relación de demora} = \text{velocidad de recorrido total} - \text{velocidad normal}$$

(7)

Esto con el fin de realizar un análisis detallado del comportamiento y la capacidad de flota actual de las rutas de transporte colectivo, para obtener resultados cuantificables sobre la velocidad de recorrido, tiempos de recorridos con el propósito fundamental de tener registros de indicadores de movilidad para futuros estudios o proyectos porque si no hay indicadores de esta naturaleza, es imposible detectar o simular ahorros de tiempo de viaje de usuarios en futuros proyectos de transporte.

2.3 ORGANIZACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Con la información actual e información similar obtenida de las rutas de transporte público colectivo convencional de años anteriores se realiza un análisis comparativo creando así dos escenarios, ya que la información obtenida de años anteriores es precisamente antes de la implementación de sistema SITM METROLINEA.

También se compara las velocidades de diseño proporcionadas por el software TRANSCAD, con las velocidades de operación detectadas en campo por medio de una modelación.

De igual manera se accede a una base de datos de velocidades de diferentes corredores viales del área metropolitana de Bucaramanga proporcionadas por el grupo de investigación Geomática de la UIS, datos con los que se realiza una correlación con las velocidades de algunos corredores viales cubiertos por las

rutas de transporte público colectivo convencional en estudio, para observar el comportamiento de la velocidad de operación en el tramo [8].

3. RESULTADOS

3.1 COMPORTAMIENTO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE LAS RUTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO CONVENCIONAL EN EL AMB

Sabiendo que el tamaño de la muestra para el estudio en mención, en el área metropolitana de Bucaramanga es de 51 rutas, se obtiene aplicando la fórmula 1, con un nivel de confianza de 95%, y un porcentaje de error del 5 %, el tamaño de la muestra, $n= 45$.

Se realizó el cálculo de velocidad de recorrido haciendo uso de la ecuación 2, al igual que la velocidad promedio de recorrido con la ecuación 3 y la velocidad ponderada de recorrido de la ecuación 4 para la muestra en estudio.

Donde se obtuvo que la velocidad promedio de recorrido y ponderada de transporte público colectivo convencional del área metropolitana de Bucaramanga es de:

Tabla 2. Velocidad promedio de recorrido y velocidad ponderada de recorrido.

Velocidad de recorrido promedio=	16,38	Km/h
velocidad ponderada por longitud=	17,44	Km/h

Para cada una de las 45 rutas se presenta los datos estadísticos más significativos que describen adecuadamente las características de la distribución de velocidades de recorrido de un flujo vehicular.

Tabla 3. Medidas de tendencia central.

Medidas de Tendencia Central	
Media	17
Mediana	16
Moda	16,26

Tabla 4. Medidas de dispersión

Medidas de Dispersión	
Rango	18
Varianza	19,219
Desviación Estándar	4,384

Tabla 5. Coeficientes Adimensionales

Coeficientes Adimensionales	
Coefficiente de Variación	0,264
Coefficiente de Asimetría	0,779
Curtosis	-0,112

Según los datos estadísticos de las rutas de transporte público colectivo convencional la velocidad media de recorrido es de [17 Km/h].

3.1.1 Análisis de frecuencia de las velocidades. Se realiza un histograma de frecuencias figura 1. Con datos de distribución de frecuencias de la Tabla 6. De las 45 velocidades de recorrido aclarando que el análisis de frecuencias se realiza para 44 rutas debido a que una ruta de estudio aparece en el Área metropolitana de Bucaramanga pero en realidad esa ruta no se encuentra vigente en la estación que registra el AMB por lo que de esta no se tiene datos de campo.

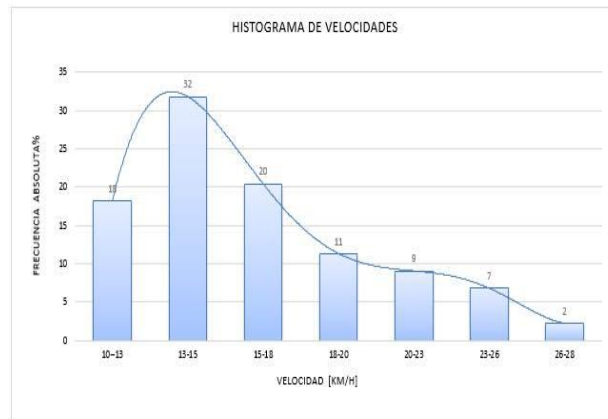
Tabla 6. Tabla de distribución de frecuencias

Cuenta (N)	44
Media	16,58
Máximo	28,11
Mínimo	10,25
Rango	17,86
Moda	16,26
Mediana	15,69
Desviación	4,38
Número intervalos	7
Ancho intervalo	2,55

Análisis de frecuencia						
Número	Intervalo		Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa Acumulada
	inicio	Final				
1	10,25	12,80	8,00	0,182	8,00	0,18
2	12,80	15,35	14,00	0,318	22,00	0,50
3	15,35	17,90	9,00	0,205	31,00	0,70
4	17,90	20,45	5,00	0,114	36,00	0,82
5	20,45	23,00	4,00	0,091	40,00	0,91
6	23,00	25,55	3,00	0,068	43,00	0,98
7	25,55	28,11	1,00	0,023	44,00	1,00
Totales			44	1,0000		

Las velocidades se extienden a partir de 10 [km/h] hasta 28 [km/h], una distribución de frecuencias puede ser preparada como se muestra en la tabla 7; en la columna dos se muestra el intervalo de frecuencia de la velocidad, en la columna tres se encuentra la frecuencia absoluta, en la columna cuatro, la frecuencia absoluta acumulada y la columna cinco se encuentra la frecuencia relativa acumulada.

Figura 2. Histograma de Velocidades



El histograma de velocidades consiste en una serie de rectángulos que tiene como base los intervalos de velocidades medias del grupo y como altura las respectivas frecuencias de las observaciones totales.

En la figura 2 se observa que el 32% de las rutas de transporte público colectivo convencional en el área metropolitana de Bucaramanga manejan velocidades entre 13 y 15 [Km/h] y un 20% de las rutas viajan a velocidades entre 15 y 18 [km/h], mientras que tan solo un 2% de las rutas alcanzan velocidades entre 26 y 28 [Km/h], pero existe una dispersión de velocidades que van entre 15 y 28 [Km/h].

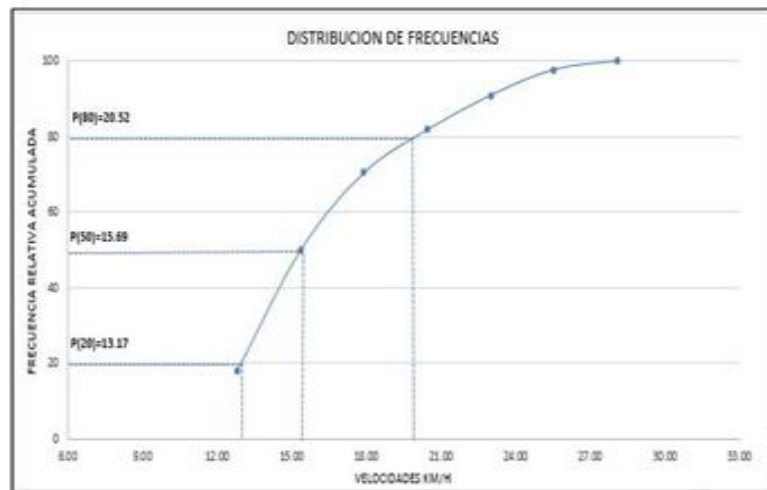
Al calificar el nivel de servicio de las rutas de transporte público colectivo convencional en el AMB, con referencia la tabla 1. Niveles de servicio, encontramos que:

- ✓ El 18% de la muestra tiene velocidades de recorrido entre 10,25 y 12,80 [Km/h] y un Nivel de servicio tipo F.
- ✓ El 32% de la muestra tiene velocidades de recorrido entre 12,80 y 15,32 [Km/h] y un nivel de servicio tipo F.
- ✓ El 20% de la muestra tiene velocidades de recorrido entre 15,35 y 17,90 [Km/h] y un nivel de servicio F.
- ✓ El 18% de la muestra tiene velocidades de recorrido entre 17,90 y 20,45 [km/h] y nivel de servicio F.
- ✓ El 9% de la muestra tiene velocidades de recorrido entre 20,45 y 23,00 [km/h] y nivel de servicio F.
- ✓ El 7% de la muestra tiene velocidades de recorrido entre 23,00 y 25,55 [km/h] y nivel de servicio F.
- ✓ El 2% de la muestra tiene velocidades de recorrido entre 25,55 y 28,11 [km/h] y nivel de servicio C.

3.1.2 Curva de distribuciones de frecuencias acumulada relativa. Estos datos se refieren al porcentaje de la velocidad a la que viajan las rutas de transporte público colectivo convencional.

Estadísticamente es un estimador de velocidad media real esperada de la población en estudio.

Figura 3. Curva de frecuencia observada y acumulada de velocidades



En la curva de distribución de frecuencias de la figura 3. Se pueden ver los límites de la velocidad y el comportamiento de la misma en las rutas del transporte público colectivo en el AMB a través de percentiles como por ejemplo en el percentil 20 las rutas manejan valores de velocidad igual o por debajo de 13,17[km/h], mientras que en el percentil 80 se manejan velocidades a/ o por debajo de 20,52 [Km/h].

3.1.3 Distribución normal de velocidades. A través del software Excel se ajustan los datos aproximadamente a una distribución normal cuyas características de acuerdo a la figura 3. Se resume así:

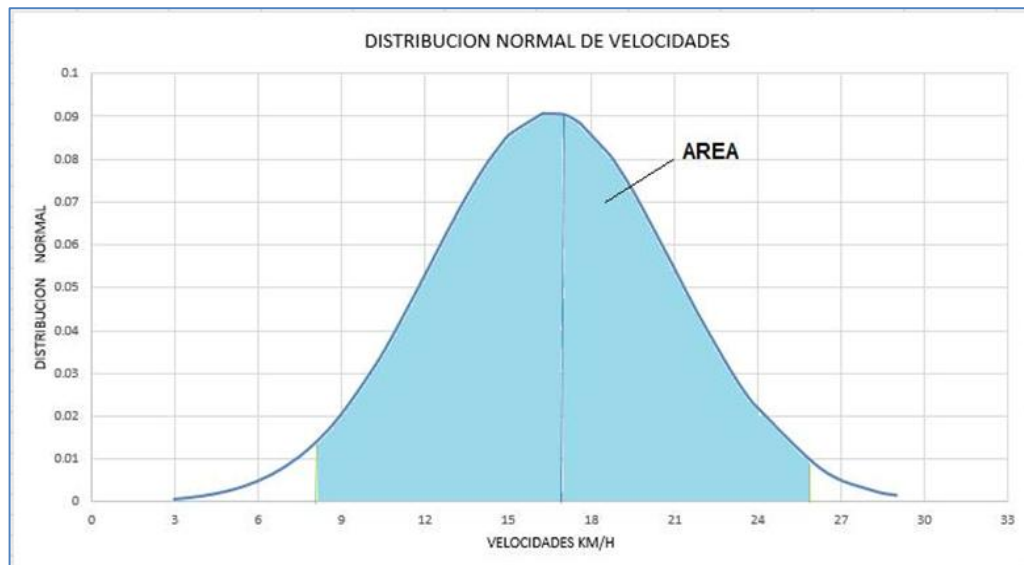
El área entre $(v_l - 1s)$ y $(v_t + 1s) = 0.683$

El área entre $(v_l - 2s)$ y $(v_t + 2s) = 0.955$

El área entre $(v_l - 3s)$ y $(v_t + 3s) = 0.997$

El área entre $(v_l - \infty s)$ y $(v_t + \infty s) = 1.000$

Figura 4. Distribución Normal de Velocidades



En general el área es entre $(v_l - ks)$ y $(v_t + ks)$

Donde k es el igual al número de desviación estándar correspondiente a nivel de confiabilidad deseado de acuerdo a la tabla 8.

Tabla 7. Constante correspondiente al nivel de confianza

Constante K	Nivel de confiabilidad
1.00	68.3
1.50	89.6
1.64	90.0
1.96	95.0
2.00	95.5
2.50	98.8
2.58	99.0
3.00	99.7

Fuente: Libro ingeniería de Transito Cal y Mayor.

En base a lo expuesto anteriormente se puede decir que las velocidades de operación de las rutas de transporte público colectivo convencional en el AMB, están comprendidas en un intervalo de $17 \text{ km/h} \pm 4,3839 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$ o bien entre 12,19 km/h y 20,95 Km/h con un 65,03% de todas las velocidades de la muestra.

El área total se halla entre los intervalos (7,98 y 25, 16), teniendo como resultado 0,9019 con un nivel de Confianza del 95% y por lo tanto una constante $k=1,96$.

3.1.4 Relación de demoras. Se escoge principales sectores del área metropolitana de Bucaramanga con zonas residenciales, comerciales y abiertas por donde circulan algunas de las rutas de la muestra, con el fin de calcular relación de demora en los tramos viales donde a través del trabajo en campo se observa mayor congestión vehicular, y desajuste en los intervalos de frecuencia de las rutas.

Se toman los tiempos de recorrido, se halla la velocidad promedio de recorrido en la zona escogida y se realiza la relación de demora frente a las velocidades del área metropolitana de Bucaramanga.

3.1.4.1 Registro de velocidad de operación de la carrera 33 de años 2010, 2013 y 2015

Tabla 8. Velocidades de operación en la carrera 33.

CRA 33 ENTRE CALLE 30 A Y CALLE 56	
Año	Velocidad promedio [Km/h]
2010	22,6
2013	21,31
2015	8,0

Figura 5. Velocidades de operación en la carrera 33

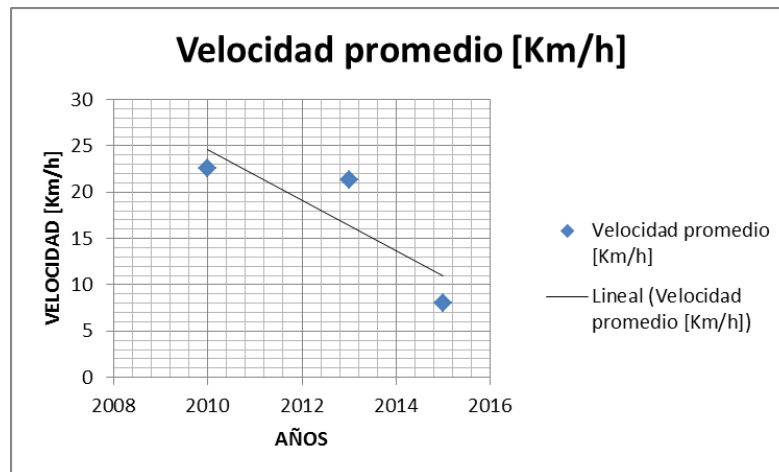
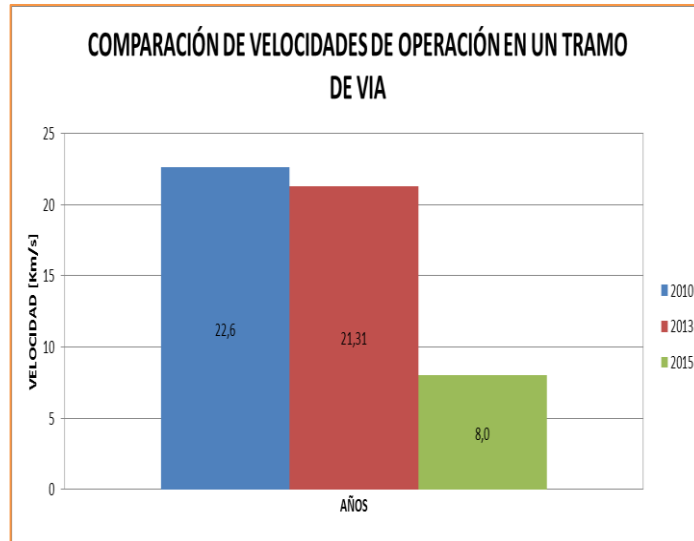


Figura 6. Comparación de velocidades de operación de la carrera 33.



Según el comportamiento de la velocidad de operación de las rutas de transporte público colectivo convencional que cubren la carrera 33 de la ciudad, en los años 2010 a 2013 la velocidad de operación disminuyó un 5% y del año 2013 a 2015 disminuyó en un 62,45%, lo que demuestra que los últimos dos años el tránsito por la carrera 33 se ha desmejorado, ver figura 6.

3.2 CAPACIDAD DE FLOTA DE LAS RUTAS MUESTRA DEL AMB

La capacidad de flota está directamente relacionada con la frecuencia con la que salen los buses desde la estación, ya que la flota es igual a la relación entre el tiempo total de recorrido y la frecuencia.

Con el tiempo de recorrido tomado en campo y la entrevista a las personas encargadas de despachar las rutas en cada estación, los cuales proporcionaron la información del intervalo de frecuencia, se calcula la capacidad de flota que debe manejar cada ruta de la muestra.

Obteniendo como resultado una variación significativa en las frecuencias, unos ciclos muy heterogéneos debidos a la misma congestión vehicular y mirando la capacidad flota que aparece en el área metropolitana para cada ruta se encuentra que no hay similitud a los datos obtenidos en campo.

✓ Ruta 1: CONVIVIR - MODELO – UIS

Tiempo de recorrido: 94 minutos.

Frecuencia: 8min

Capacidad de flota calculada: 12 buses

Capacidad de flota calculada máxima: 14 buses

Capacidad de flota según AMB: 20 buses

Capacidad de flota máxima según AMB: 22 buses

✓ Ruta 11: BAHONDO – RINCÓN – CRA 33

Tiempo de recorrido: 125 minutos.

Frecuencia: 8min

Capacidad de flota: 16 buses

Capacidad de flota máxima: 19 buses

Capacidad de flota según AMB: 19 buses

Capacidad de flota máxima según AMB: 20 buses

Ruta 18: PUENTE TIERRA- CRA 33- CACIQUE

✓ Tiempo de recorrido: 110 minutos.

Frecuencia: 8min

Capacidad de flota: 14 buses

Capacidad de flota máxima: 17 buses
Capacidad de flota según AMB: 24 buses
Capacidad de flota máxima según AMB: 26 buses

✓ Ruta 29: ESTORAQUES - PINOS

Tiempo de recorrido: 111 minutos.

Frecuencia: 5min

Capacidad de flota: 22 buses

Capacidad de flota máxima: 27 buses

Capacidad de flota según AMB: 17 buses

Capacidad de flota máxima según AMB: 19 buses

✓ Ruta 49: PIEDECUESTA - ANILLO VIAL - GIRÓN - KENNEDY

Tiempo de recorrido: 145 minutos.

Frecuencia: 10min

Capacidad de flota: 15 buses

Capacidad de flota máxima: 17 buses

Capacidad de flota según AMB: 20 buses

Capacidad de flota máxima según AMB: 22 buses

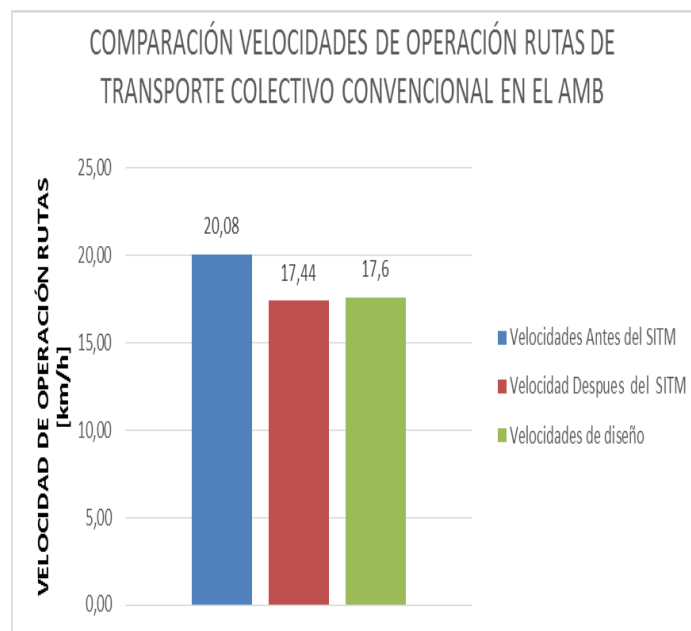
Ver capacidad de flota para demás rutas en Anexos.

3.3 COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE RECORRIDOS DETECTADAS EN CAMPO DE LA RUTAS MUESTRA CONSIDERANDO TRES ESCENARIOS.

✓ Velocidades de operación antes de la implementación del sistema integrado de transporte masivo Metrolinea [6].

- ✓ Velocidades con las que fueron diseñadas las rutas de transporte público colectivo convencional [7].
- ✓ Velocidades Actuales tomadas en campo después de la implementación de SITM Metrolinea.

Figura 7. Velocidades de operación de las rutas de transporte público colectivo en tres escenarios.



En la figura 9. Se puede apreciar que las velocidades de operación después del SITM han disminuido un 13,15% con respecto a las velocidades que se manejaban antes de la implementación del Sistema integrado de transporte masivo Metrolinea, a la vez se puede decir que las velocidades de operación encontradas en campo tienen una depreciación de 0,9% con respecto a las velocidades con que fueron diseñadas las rutas de transporte público colectivo convencional del área metropolitana de Bucaramanga.

3.3.1 Comparativo entre la velocidad de recorrido obtenida en campo frente a la velocidad de diseño. Se escoge cinco rutas de transporte público colectivo convencional de la muestra, de los cuales se tiene información sobre la velocidad de operación con que fueron diseñadas, se aclara que los archivos recolectados para la obtención de la velocidad de diseño contiene rutas que al día de hoy no existen o han sido modificadas de alguna manera, por lo que se realiza el parangón a rutas que no han sido renovadas, de igual, manera se hace uso de la ecuación (7). Para calcular la relación de demora en base a la velocidad de diseño.

Rutas seleccionadas:

✓ Ruta 6: Joya – Cra 33 – la victoria

Velocidad de Diseño: 18,7 [km/h]

Velocidad de Recorrido: 12 [km/h]

✓ Ruta 11: Bahondo – Rincón - Cra 33

Velocidad de Diseño: 36,9 [Km/h]

Velocidad de recorrido: 18,7[Km/h]

✓ Ruta 13: La feria – centro - UIS

Velocidad de Diseño: 19,22 [Km/h]

Velocidad de recorrido: 12 [Km/h]

✓ Ruta 17: Café - INEM

Velocidad de Diseño: 18,7 [Km/h]

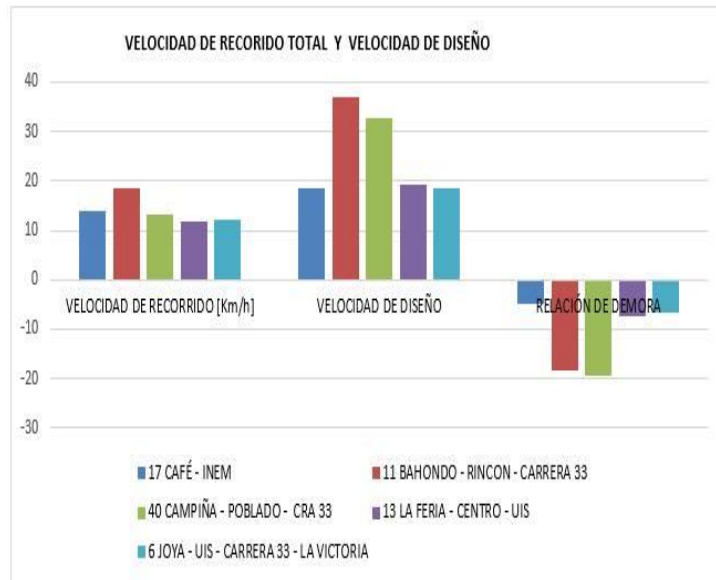
Velocidad de recorrido: 13,96 [Km/h]

✓ Ruta 40: Campiña- Poblado – Cra 33

Velocidad de Diseño: 32,8 [Km/h]

Velocidad de recorrido: 13 [Km/h]

Figura 8. Comparación de relación de demora entre velocidad de diseño y velocidad recorrida de cinco rutas de transporte público colectivo de AMB.



En la figura 8. Se puede apreciar que en las rutas seleccionadas presentan una relación de demoras con resultado negativo lo que se considera como congestión vehicular permanente en cada ruta.

4. CONCLUSIONES

- Al calcular las velocidades de recorrido del transporte público colectivo convencional del área metropolitana de Bucaramanga, se encuentra que los buses y busetas prestadoras del servicio circulan con una velocidad promedio de recorrido de dieciséis con cincuenta y ocho kilómetros por hora y una velocidad ponderada de recorrido de diecisiete con cuarenta y cuatro kilómetros por hora.
- La ruta, (la Joya - Centro - Buenavista), presenta la velocidad máxima de recorrido igual a 28,11 [km/h], la ruta que presenta la velocidad de recorrido más baja fue, la ruta 46, (Brisas del Campo- Poblado – Real de minas – UIS) con una velocidad igual a 10, 25 [km/h].
- Basándonos en el presente estudio se puede afirmar que en el área metropolitana de Bucaramanga, la velocidad de recorrido de 9 de las rutas en estudio están en el (percentil 80) que es igual a veinte con cincuenta y dos kilómetros por hora dejando ver que el (percentil 80) tiene una velocidad mayor al (percentil 20), la cual no es una velocidad de recorrido ideal pues los tiempos de viaje son más largos, y no se está cumpliendo con el mayor beneficio que se debe obtener con la implementación del nuevo sistema de transporte público masivo (SITM), que se constituye en los ahorros de tiempo de viaje de los usuarios.
- Este proyecto debe ser la base de inicio junto con otros proyectos de investigación que se están realizando para tener indicadores de movilidad y así contar con registros históricos, para futuros proyectos de movilidad en el contexto de la región.

- Debido a la variación e irregularidad de las frecuencias que manejan las rutas de transporte público colectivo convencional, se distorsionan los intervalos de paso entre vehículos, afectando los perfiles de carga de usuarios, que pierden la credibilidad frente al sistema de transporte, optando por tomar otro medio de transporte más contaminante. Además la capacidad de flota está relacionada directamente con el ciclo medido en minutos y este es heterogéneo, cuando la velocidad no es constante. Se puede observar el aumento progresivo de las frecuencias de las rutas, generando como consecuencia que en ciertos sectores de la ruta los vehículos circulen seguido con intervalos pequeños o totalmente separados con intervalos grandes entre sí.
- A través del presente estudio se ha llegado al resultado de un indicador de movilidad para el transporte público colectivo convencional del área metropolitana de Bucaramanga, de tal manera, que pueda utilizarse como insumo para la formulación de la oferta del servicio de nuevas rutas y ajuste de rutas existentes, dentro del proceso de integración del transporte público colectivo convencional y el sistema de transporte público masivo METROLINEA.
- La estimación de velocidades de recorrido promedio y ponderada, tiene como propósito corroborar la información. La velocidad ponderada, está sujeta a las longitudes de viaje, lo que hace que en el cálculo como tal, sea más confiable como insumo a tener en cuenta, mientras que las velocidades promedio, están calculadas con cifras irregulares.
- El nivel de servicio en el área metropolitana de Bucaramanga es de tipo F, mostrando que las velocidades de la ciudad presentan velocidades de congestiónamiento.

- Con los datos obtenidos en campo y los registros de estudios anteriores se logra hacer comparativos que dejan ver, que la velocidad de operación de las rutas de transporte público colectivo ha venido disminuyendo los últimos años, a pesar de que se implementó un nuevo sistema de transporte masivo, no se observa cambios favorables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] PEÑA, Fabio. Revista Gente de Cañaveral. El problema de la inmovilidad [en línea]. (11 febrero 2011). Disponible: <http://www.gentedecanaveral.com/2011/02/el-problema-de-la-in-movilidad/> [Citado 29 de Octubre 2014]

[2] Transporte de Pasajeros en el Área Metropolitana de Bucaramanga, OBSERVATORIO METROPOLITANO

[3] LEY 1239 DE 2008, Por medio de la cual se modifican los artículos 106 y 107 de la Ley 769 del 2 de agosto de 2002 y se dictan otras disposiciones. El Congreso de Colombia disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31604>, [citado 18 julio de 2015].

[4] En la ciudad hay cuatro límites de velocidad, disponible en la siguiente dirección: <http://www.vanguardia.com/historico/20798-en-la-ciudad-hay-cuatro-limites-de-velocidad> [Citado 2 de julio de 2015].

[5] CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL, Este material de autoestudio fue creado en el año 2007 para el programa Ingeniería de Transporte y Vías y ha sido autorizada su publicación por el (los) autor (es), en el Banco de Objetos Institucional de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, disponible en: http://www.academia.edu/7014177/CAPACIDAD_Y_NIVELES_DE_SERVICIO_DE_LA_INFRAESTRUCTURA_VIAL, [Citado 4 julio 2015].

[6] ING OSMA Jaime, Área Metropolitana de Bucaramanga, Datos Estadísticos e información por encuestas, 2010.

[7] Modelo de simulación por TRANSCAD, ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, 2009.

[8] Porras Hernán, Grupo de Investigación Geomática UIS, ANÁLISIS DE VELOCIDADES periodo 2010-2013.

BIBLIOGRAFÍA

BUCARAMANGA, disponible en:
<http://amb.gov.co/observatorio2/boletines/2014/4.%20Sector%20Movilidad/TRANSPORTE/Bolet%C3%ADn%20N%C2%B0%203.%20%20Transporte%20de%20Pasajeros%20en%20el%20%C3%81rea%20Metropolitana%20de%20Bucaramanga.pdf>. [Citado: 1 de julio del 2015]

CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL, Este material de autoestudio fue creado en el año 2007 para el programa Ingeniería de Transporte y Vías y ha sido autorizada su publicación por el (los) autor (es), en el Banco de Objetos Institucional de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, disponible en:
http://www.academia.edu/7014177/CAPACIDAD_Y_NIVELES_DE_SERVICIO_DE_LA_INFRAESTRUCTURA_VIAL, [Citado 4 julio 2015].

CÁRDENAS G, D. H. Capacidad niveles de servicio y congestión en vías urbanas. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia UPTC. 33 pág. Habilitado en internet: <http://es.scribd.com/doc/246692540/CNS-Vias-Urbanas-Ing-Daniel-Cardenas-UPTC>. [Citado 02 noviembre 2014].

En la ciudad hay cuatro límites de velocidad, disponible en la siguiente dirección:
<http://www.vanguardia.com/historico/20798-en-la-ciudad-hay-cuatro-limites-de-velocidad> [Citado 2 de julio de 2015].

GUERRERO, J. Revista digital apuntes de Investigación UPB. Análisis causal de las principales problemáticas de la movilidad en el área metropolitana de Bucaramanga. [En línea]. (Enero 2014). Disponible:

<http://apuntesdeinvestigacion.upbbga.edu.co/wp-content/uploads/1.-Analisis-Causal-Movilidad.pdf>. [Citado 29 de octubre 2014].

LEY 1239 DE 2008, Por medio de la cual se modifican los artículos 106 y 107 de la Ley 769 del 2 de agosto de 2002 y se dictan otras disposiciones. El Congreso de Colombia disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31604>, [citado 18 julio de 2015].

Modelo de simulación por TRANSCAD, ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, 2009.

Oficina de Caminos Públicos de los Estados Unidos, Manual de Capacidad de las Carreteras (HCM), quinta edición, Estados Unidos, 2010.

OSMA, J.Ing. Área Metropolitana de Bucaramanga, Datos Estadísticos e información por encuestas, 2010.

PEÑA, Fabio. Revista Gente de Cañaveral. El problema de la inmovilidad [en línea]. (11 febrero 2011). Disponible: <http://www.gentedecanaveral.com/2011/02/el-problema-de-la-in-movilidad/> [Citado 29 de Octubre 2014]

PORRAS, H. Grupo de Investigación Geomática UIS, ANÁLISIS DE VELOCIDADES periodo 2010-2013.

REYES R. Cal y M. CÁRDENAS J, Ingeniería de Transito fundamentos y aplicaciones, séptima edición, Alfaomega, México D.F, 1994, capítulo 9.

Transporte de Pasajeros en el Área Metropolitana de Bucaramanga, OBSERVATORIO METROPOLITANO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Plan maestro de movilidad de Bucaramanga 2010– 2030.

ANEXOS

ANEXO A. Rutas Actuales de transporte publico convencional 2015 (Archivo adjunto)